

**EVALUASI PEMBEBANAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI PADA GARDU
CANTOL PTUC DI PT PLN (PERSERO) UP3 BANDUNG**

***EVALUATION OF DISTRIBUTION TRANSFORMER LOADING AT PTUC CANTOL
SUBSTATION AT PT PLN (PERSERO) UP3 BANDUNG***

Nana Maulina Rahayu¹, Ali Mashar², Ratu Fenny Muldiani³

¹*Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012*

E- mail: nana.maulina.tken20@polban.ac.id

²*Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012*

E- mail: Ali.mashar@polban.ac.id

³*Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012*

E- mail: ratu.fenny@polban.ac.id

ABSTRAK

Ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi tidak dapat bisa dihindari hal ini terjadi karena ketidakseimbangan pemakaian energi listrik. Ketidakseimbangan beban transformator antar fasa R, fasa S, fasa T menyebabkan arus mengalir pada netral trafo yang mana dapat menimbulkan rugi-rugi daya. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk menganalisis rugi daya yang terjadi pada gardu cantol PTUC disebabkan karena adanya arus netral yang mengalir pada transformator. Dalam menganalisis masalah menggunakan model matematis meliputi persamaan pembebanan, ketidakseimbangan beban serta rugi-rugi akibat arus netral setelah itu dibandingkan dengan standar SPLN No. 17 Tahun 2014. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa beban trafo pada gardu cantol dalam keadaan tidak seimbang. Semakin besar ketidakseimbangan beban pada transformator, maka arus netral serta losses yang dihasilkan akan semakin besar pula. Rugi daya yang terjadi pada trafo malam hari sebesar 2,1 % dan 2 % pada siang hari dari total daya aktual beban.

Kata Kunci: Ketidakseimbangan Beban, Arus Netral, Rugi-rugi, Gardu Cantol

ABSTRACT

Load imbalance on distribution transformers cannot be avoided, this occurs because of an imbalance in electrical energy use. Transformer load imbalance between R phase, S phase, T phase causes current to flow in the transformer neutral which can cause power losses. The aim of this final assignment is to analyze the power losses that occur at the PTUC cantol substation due to the neutral current flowing in the transformer. In analyzing the problem using a mathematical model including load equations, load imbalance and losses due to neutral currents after that it is compared with SPLN standard No. 17 of 2014. The evaluation results show that the transformer load at the cantol substation is in an unbalanced state. The greater the load imbalance on the transformer, the greater the neutral current and losses produced. Power losses that occur in the transformer at night are 2.1% and 2% during the day of the total actual load power.

Keywords: Load Imbalance, Neutral Current, Losses, Cantol Substations

PENDAHULUAN

Listrik telah menjadi bagian yang tidak dapat dipisahkan dalam aktifitas manusia, hal ini dapat dilihat dari pemakaian sebagian besar alat penunjang kegiatannya menggunakan listrik. Berdasarkan Data

Statistik Ketenagalistrikan Kementerian ESDM konsumsi listrik per kapita di Indonesia pada tahun 2020 mencapai 1,09 MWH/Kapita. Kebutuhan energi listrik akan semakin meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan berkembangnya teknologi

yang terjadi di masyarakat. Perkembangan teknologi yang semakin maju pada saat ini mengakibatkan banyaknya pemakaian sumber daya listrik sebagai penunjang kehidupan yang lebih baik. Kualitas sistem jaringan distribusi yang andal sangat diperlukan, hal ini dapat dilakukan dengan ditunjangnya perlengkapan-perengkapan sistem distribusi tenaga listrik yang memadai. Transformator merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang dapat menjaga agar kebutuhan listrik masyarakat dapat terpenuhi. Untuk memberikan layanan yang baik, pihak PLN harus memperhatikan hal-hal yang dapat mempengaruhi penurunan kualitas energi listrik, diantaranya pemilihan transformator yang efisien dan pembebanan yang tidak seimbang. Ketidakseimbangan beban transformator antar fasa R, fasa S, fasa T menyebabkan arus mengalir pada netral trafo yang mana dapat menimbulkan rugi-rugi daya. Pemakaian beban listrik yang tidak seimbang dengan besar langganan daya dapat mengakibatkan kurang efisien dalam hal pembiayaan, hal ini menyebabkan tingginya biaya rekening listrik yang dibayar setiap bulannya.

Transformator

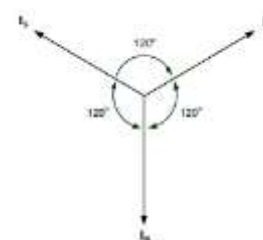
Transformator merupakan suatu peralatan listrik yang dapat mengubah energi listrik bolak balik (AC) dari satu tingkat ke tingkat tegangan lainnya, berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Transformator berfungsi menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya.

Gardu Cantol

Pada gardu distribusi tipe cantol (Single Pole Mounted distribution substation), apabila ditinjau berdasarkan kebutuhan gardu, transformator distribusi yang terpasang 50 kVA – 160 kVA, fasa 3 atau fasa 1 dan dicantolkan pada tiang listrik

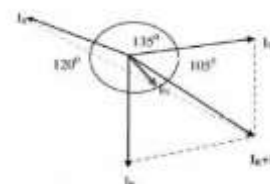
dengan besarnya kekuatan tiang minimal 500 daN (Kuat Tarik Tiang), adapun transformator terpasang adalah jenis Completely Self Protected Transformer (CSP) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator yang sebagaimana spesifikasinya sesuai dengan standar SPLN D3.002-1:2007.

Transformator 3 Fasa



Gambar 1. Vektor Diagram Arus Seimbang (Julius,2006)

Berdasarkan gambar tersebut menunjukkan vektor diagram arus yang mengalir pada masing-masing fasa (fasa R, fasa S dan fasa T) dalam keadaan seimbang. Adapun untuk diagram vektor arus tidak seimbang dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. Diagram Vektor Arus Tidak Seimbang (Watiningsih, 2012)

Daya Pada Saluran Distribusi

Daya (P) disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \quad (1)$$

Keterangan:

P = Daya (W)

V =Tegangan (L-L) sisi primer transformator (kV)

I = Arus Saluran (A)

\cos = Faktor daya

Arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut:

$$[I_R] = a [I_{rata-rata}]$$

$$[I_S] = b [I_{rata-rata}]$$

$$[I_T] = c [I_{rata-rata}]$$

Dimana I_R, I_S dan I_T berturut-turut merupakan arus di fasa R, S dan T. (Ahmad, 2011). Apabila faktor daya pada setiap fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai:

$$P = (a + b + c) \cdot V \cdot I \cdot \cos \quad (2)$$

Berdasarkan dari kedua persamaan di atas diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu:

$$a + b + c = 3$$

Dimana pada keadaan seimbang nilai koefisien $a = b = c = 1$. (Dahlan, 2009)

Arus Beban Penuh

Bila ditinjau berdasarkan tegangan tinggi, daya transformator dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (3)$$

Keterangan:

S = Daya Transformator (kVA)

V = Tegangan (L-L) sisi primer transformator (kV)

I = Arus saluran (A)

Untuk menghitung arus beban penuh (full load) dan arus rata-rata (I_{avr}) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (4)$$

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (5)$$

Dimana:

I_F = Arus beban penuh (A).

S = Daya Transformator (kVA)

V = Tegangan sisi sekunder transformator (kV)

$I_{rata-rata}$ = Arus rata-rata (A)

I = Arus saluran (A)

Sedangkan untuk mencari presentase pembebanan pada transformator distribusi dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{pembebanan} \\ &= \frac{I_{rata-rata \text{ beban}}}{I_{\text{beban penuh transformator}}} \times 100 \end{aligned}$$

Ketidakseimbangan Beban

Keadaan beban seimbang adalah suatu keadaan dimana:

- 1) Ketiga vector arus / tegangan sama besarnya.
- 2) Ketiga vector saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Keadaan tidak seimbangan adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 2 yaitu:

- 1) Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- 2) Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain. (Sentosa, dkk. 2006).

Adapun untuk mencari nilai ketidakseimbangan fasa R, S, T pada transformator dapat dicari dengan persamaan berikut ini (Ahmad saeful, 2021):

$$I_R = a \cdot I, \text{ maka: } a = \frac{I_R}{I} \quad (6)$$

$$I_S = b \cdot I, \text{ maka: } b = \frac{I_S}{I} \quad (7)$$

$$I_T = c \cdot I, \text{ maka: } c = \frac{I_T}{I} \quad (8)$$

Dimana, I = Arus rata-rata dari ketiga fasa R, S, dan T.

Adapun untuk mencari rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %)

$$= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100 \%$$

Tabel 1. Data SPLN No. 17 Tahun 2014 (SPLN, 2014)

Karakter Grup	Karakteristik	Indeks Kesehatan			
		Baik	Cukup	Kurang	Buruk
Pembacaan Beban	Ketidakseimbangan arus antar fasa	<10 %	10 % - <20 %	20 % - < 25 %	≥ 25 %
	Beban Arus netral TR (% terhadap arus beban trafo)	< 10 %	10 % - < 15 %	15 % - < 20 %	≥ 20 %
	Pembebanan trafo (% terhadap kapasitas)	< 60 %	60 % - < 80 %	80 % - < 100 %	≥ 100 %

Rugi-rugi Terhadap Arus Netral

Akibat adanya ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) yang mengalirkan arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan losses (Rugi-rugi). Rugi-rugi pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad (9)$$

Dimana:

P_N = Rugi Netral penghantar trafo (W)

I_N = Arus netral trafo (A)

R_N = Tahanan saluran antara trafo ke beban (Ohm)

METODE PENELITIAN

Deskripsi Objek

Objek dari penelitian ini adalah transformator distribusi pada Gardu Cantol PTUC, PT. PLN UP3 Bandung dengan data spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Trafo

Spesifikasi Trafo	
Merek	Starlite
Macam Trafo	T160N56
Daya	160 Kva
Beban	Kontiniu
Pendinginan	ONAN
Berat Oli	285 KG
Kenaikan Suhu Oli Maksimum	50 ⁰
Jenis & Merk Oli	Mineral Oil & NYNAS
Fasa	3
Frekuensi	50 Hz
Kel. Vektor	Yzn 5
Pasangan	Luar/Dalam
Berat Total	1150 KG
Kenaikan Suhu Belitan Maksimum	55 ⁰
Tahun Pembuatan	2012
Cos φ	0,85

Tegangan Impedansi	4.0 %
Tegangan sekunder	400 V
Tegangan Primer	20 kV
Arus Primer	4,61 A
Arus Sekunder	230,9 A

Data arus dan tegangan pada transformator PTUC diperoleh dari PT. PLN (PERSERO) UP3 BANDUNG sebanyak 14 Data dengan masing- masing 7 data yang diukur pada malam dan siang hari. Data pada

siang hari diambil mulai pukul 09.30-13.35, sedangkan data pada malam hari dari 18.30-22.20 secara acak. Adapun data hasil pengukuran dimuat secara lengkap pada Tabel 3, 4, 5 dan 6.

Tabel 3. Data Pengukuran Tegangan Pada Siang Hari

No	Tanggal	Jam	Tegangan (V)						Rata-rata Tegangan (V)
			R-S (V)	S-T (V)	T-R (V)	R-N (V)	S-N (V)	T-N (V)	
1	14/02/2022	9.30	399	401	395	232	228	229	398,3
2	14/03/2022	9.30	399	401	395	232	228	229	398,3
3	09/04/2022	11.58	401	401	397	232	229	229	399,7
4	12/05/2022	9.20	399	400	394	231	228	228	397,7
5	12/06/2022	9.20	399	400	394	231	228	228	397,7
6	18/07/2022	13.35	399	400	394	231	228	228	397,7
7	18/08/2022	13.35	399	400	394	231	228	228	397,7

Tabel 4. Data Pengukuran Arus Pada Siang Hari

Arus (A)				Arus Rata-rata (A)
R	S	T	N	
68	96	100	60	88,00
66	90	101	61	85,67
68	90	108	63	88,67
67	96	103	66	88,67
69	95	101	58	88,33
68	92	102	59	87,33
67	90	104	62	87,00

Tabel 5. Data Pengukuran Tegangan Pada Malam Hari

No	Tanggal	Jam	Tegangan (V)						Rata-rata Tegangan (V)
			R-S (V)	S-T (V)	T-R (V)	R-N (V)	S-N (V)	T-N (V)	
1	08/02/2002	18.30	403	403	399	233	231	231	401,7
2	08/03/2022	18.30	403	403	399	232	231	231	401,7
3	09/04/2022	22.20	403	403	399	233	231	231	401,7
4	18/05/2022	22.20	403	403	399	233	231	231	401,7
5	23/06/2022	22.20	403	403	399	233	231	231	401,7
6	09/07/2022	19.12	403	404	400	233	230	230	402,3
7	08/09/2022	19.49	401	396	400	233	229	229	399,0

Tabel 6. Data Pengukuran Arus Pada Malam Hari

Arus (A)				Arus Rata-rata (A)
R	S	T	N	
91	104	127	63	107,33
92	105	128	62	108,33
90	108	123	58	107,00
94	102	125	61	107,00
90	100	123	62	104,33
92	106	125	59	107,67
90	102	120	57	104,00

Parameter-parameter Perhitungan

1. Data Arus

Data arus yang dibutuhkan merupakan data arus yang mengalir pada masing-masing saluran (fasa R, S, T dan N).

2. Data Tegangan

Data tegangan digunakan untuk menghitung berapa besar arus beban penuh. Arus beban penuh dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

$$I_{FL} = \frac{160.000 V}{\sqrt{3} \cdot 400 V}$$

$$I_{FL} = 230,9 A$$

Berdasarkan data hasil pengukuran sudah ada 14 data sebagaimana terlampir pada Tabel 3, 4, 5 dan 6, demikian pula dengan data arus nominal trafo (IFL). Berdasarkan data-data tersebut dapat dihitung tingkat pembebanan trafo sesaat sebagai berikut.

Diketahui:

Data pada siang hari

- $I_R = 68 A$
- $I_S = 96 A$
- $I_t = 100 A$

$$\%R = \frac{I_R}{I_{FL}} \times 100 \%$$

$$= \frac{68 A}{230,9 A} \times 100 \%$$

$$= 29,44 \%$$

$$\%S = \frac{I_S}{I_{FL}} \times 100 \%$$

$$= \frac{96 A}{230,9 A} \times 100 \%$$

$$= 41,58 \%$$

$$\%T = \frac{I_T}{I_{FL}} \times 100 \%$$

$$= \frac{100 A}{230,9 A} \times 100 \%$$

$$= 43,31 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas dapat diketahui rata-rata pembebanan pada transformator yaitu:

$$= \frac{29,44 \% + 41,58 \% + 43,31 \%}{3}$$

$$= 38,11\%$$

atau dengan cara arus rata-rata:

$$= \frac{68 A + 96 A + 100 A}{3} = 88 A$$

Persentase pembebanan

$$= \frac{I_{rata-rata\ beban}}{I_{beban\ penuh\ transformator}} \times 100$$

$$= \frac{88 A}{230,9 A} \times 100 = 38,11 \%$$

Dengan demikian pembebanan pada siang hari adalah sebesar 38,11%.

Berikut terlampir Tabel 7 hasil perhitungan pembebanan pada siang hari

Tabel 7. Hasil Perhitungan Pembebanan Pada Siang Hari

Data Ke-	Siang Hari				
	Pembebanan Arus (%)			Rata -rata Pembebanan arus (%)	Standar SPLN No. 17 Tahun 2014
	R	S	T		
1	29,45	41,58	43,31	38,11	<60 %
2	28,58	38,98	43,74	37,10	
3	29,45	38,98	46,77	38,40	
4	29,02	41,58	44,61	38,40	
5	29,88	41,14	43,74	38,26	
6	29,45	39,84	44,17	37,82	
7	29,02	38,98	45,04	37,68	
Rata-rata (%)				37,97	

Berikut terlampir Tabel 8 hasil perhitungan pembebanan pada malam hari.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Pembebanan Pada Malam Hari

Data Ke-	Malam Hari				
	Pembebanan Arus (%)			Rata -rata Pembebanan arus (%)	Standar SPLN No. 17 Tahun 2014
	R	S	T		
1	39,41	45,04	55,00	46,48	<60 %
2	39,84	45,47	55,44	46,92	
3	38,98	46,77	53,27	46,34	
4	40,71	44,17	54,14	46,34	
5	38,98	43,31	53,27	45,19	
6	39,84	45,91	54,14	46,63	
7	38,98	44,17	51,97	45,04	
Rata-rata (%)				46,13	

3. Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo

Jika koefisien keseimbangan beban yaitu $a = b = c = 1$, maka beban dalam keadaan seimbang.

Diketahui:

Pada siang hari

$$I_R = 68 \text{ A}$$

$$I_S = 96 \text{ A}$$

$$I_T = 100 \text{ A}$$

Berdasarkan data di atas dapat dihitung arus rata-rata (I_{avg})

$$I_{avg} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_{avg} = \frac{68 + 96 + 100}{3}$$

$$I_{avg} = 88 \text{ A}$$

Koefisien a, b, dan c dapat dihitung seperti berikut ini:

$$I_R = a \cdot I, \text{ maka: } a = \frac{68 \text{ A}}{88 \text{ A}} = 0,773$$

$$I_S = b \cdot I, \text{ maka: } b = \frac{96 \text{ A}}{88 \text{ A}} = 1,09$$

$$I_T = c \cdot I, \text{ maka: } c = \frac{100 \text{ A}}{88 \text{ A}} = 1,136$$

%Ketidakseimbangan beban

$$= \frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100 \%$$

$$= \frac{\{|0,77 - 1| + |1,09 - 1| + |1,136 - 1|\}}{3} \times 100 = 15,15 \%$$

Berikut terlampir Tabel 9 hasil perhitungan ketidakseimbangan beban pada siang hari.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Ketidakseimbangan beban pada Siang Hari

Data Ke-	Siang Hari				Standar SPLN No. 17 Tahun 2014
	Ketidakseimbangan beban (%)			Ketidakseimbangan Beban (%)	
	R	S	T		
1	0,773	1,091	1,136	15,152	<10%-<20%
2	0,770	1,051	1,179	15,305	
3	0,767	1,015	1,218	15,539	
4	0,756	1,083	1,162	16,291	
5	0,781	1,075	1,143	14,591	
6	0,779	1,053	1,168	14,758	
7	0,770	1,034	1,195	15,326	
Rata-rata (%)				15,280	

Berikut terlampir Tabel 10 hasil perhitungan ketidakseimbangan beban pada malam hari.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Ketidakseimbangan beban pada Malam Hari

Data Ke-	Malam Hari				Standar SPLN No. 17 Tahun 2014
	Ketidakseimbangan Beban (%)			Ketidakseimbangan Beban (%)	
	R	S	T		
1	0,848	0,969	1,183	12,215	<10%-<20%
2	0,849	0,969	1,182	12,103	
3	0,841	1,009	1,150	10,592	
4	0,879	0,953	1,168	11,215	
5	0,863	0,958	1,179	11,928	
6	0,854	0,985	1,161	10,733	
7	0,865	0,981	1,154	10,256	
Rata-rata (%)				11,292	

4. Data Tahanan Kawat Netral Transformator Distribusi

Transformator distribusi gardu cantol Menggunakan kabel pilin (NFAAX-T) alumunium dengan luas penampang 70 mm². Panjang kawat penghantar netral trafo jaringan tegangan rendah 200 m hal ini ditinjau berdasarkan pembumian penghantar netral dibumikan (Buku 1 PLN edisi 2010). Maka rumus resistansi dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini:

Diketahui :

$$\rho = \text{aluminium } (2,65 \times 10^{-8} \Omega \cdot m)$$

$$A \text{ (Panjang Kawat)} = 200 \text{ m}$$

$$l \text{ (Luas penampang)} = 70 \text{ mm}^2 = 7 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

maka,

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$R = 2,65 \times 10^{-8} \Omega \cdot m \times \frac{200 \text{ m}}{7 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$R = 0,7571 \Omega$$

5. Analisis Rugi-rugi

Analisis rugi-rugi dapat diketahui apabila adanya arus yang mengalir pada netral trafo mengakibatkan adanya rugi-rugi daya.

Diketahui:

- $I_N = 60 \text{ A}$

- $R_N = 0,7571 \Omega$

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N$$

$$P_N = (60)^2 \cdot 0,7571$$

$$P_N = 2725,56 \text{ Watt} = 2,726 \text{ KW}$$

Daya aktif trafo adalah:

$$P = S \times \cos \varphi$$

$$P = 160 \times 0,85$$

$$P = 136 \text{ KW}$$

Dengan demikian, presentase losses yang diakibatkan oleh adanya arus Netral pada penghantar transformator dapat dihitung menggunakan rumus

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100 \%$$

$$\% P_N = \frac{2,726}{136} \times 100 \%$$

$$\% P_N = 2 \%$$

Berikut terlampir Tabel 11 hasil perhitungan rugi-rugi arus netral pada siang hari.

Siang Hari		
Data ke-	Persentase rugi" (%)	Standar SPLN No. 17 Tahun 2014
1	2,0	<10 %
2	2,1	
3	2,2	
4	2,4	
5	1,9	
6	1,9	
7	2,1	
Rata-rata (%)	2,1	

Berikut terlampir Tabel 12 hasil perhitungan rugi-rugi arus netral pada malam hari.

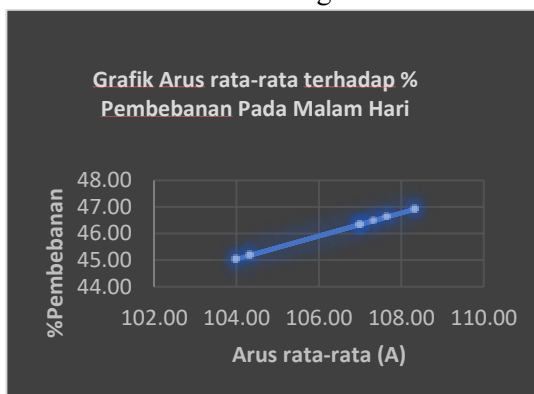
Malam Hari		
Data ke-	Persentase rugi" (%)	Standar SPLN No. 17 Tahun 2014
1	2,2	<10 %
2	2,1	
3	1,9	
4	2,1	
5	2,1	
6	1,9	
7	1,8	
Rata-rata (%)	2,0	

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Beban Penuh

Berdasarkan Tabel 7 dan 8 menunjukkan bahwa arus yang mengalir pada setiap fasa R, S dan T memiliki perbedaan baik itu siang hari maupun malam hari. Berdasarkan hasil perhitungan diatas

diperoleh rata-rata pembebanan pada siang hari sebesar 37,97 % sedangkan rata-rata pembebanan pada malam hari sebesar 46,13 %. Dalam hal ini beban transformator pada gardu cantol di PT PLN (PERSERO) UP3 Bandung dapat dikategorikan baik, hal ini ditinjau berdasarkan standar SPLN No. 17 tahun 2014, dimana transformator tidak dibebani lebih dari 80% dari kapasitasnya dan tidak dibebani kurang dari 60 %.

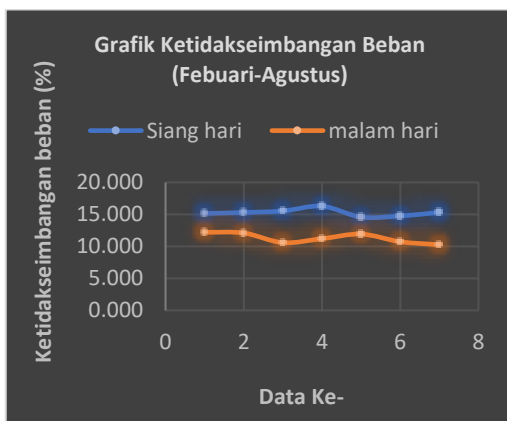


Berdasarkan gambar grafik pembebanan terhadap arus rata-rata menunjukkan adanya hubungan linear persentase pembebanan terhadap nilai arus rata-rata. Selain itu dapat juga dibuktikan berdasarkan grafik yang sudah terlampir, bahwasanya semakin besar arus rata-rata maka akan semakin besar pula nilai persentase pembebanannya.

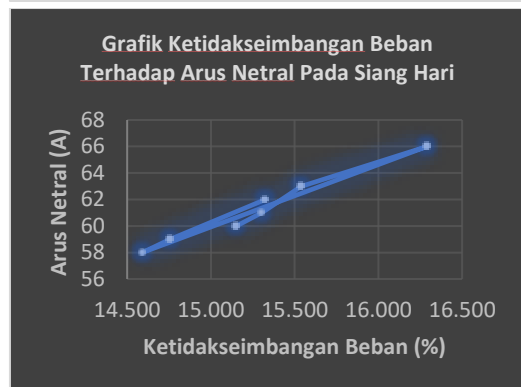
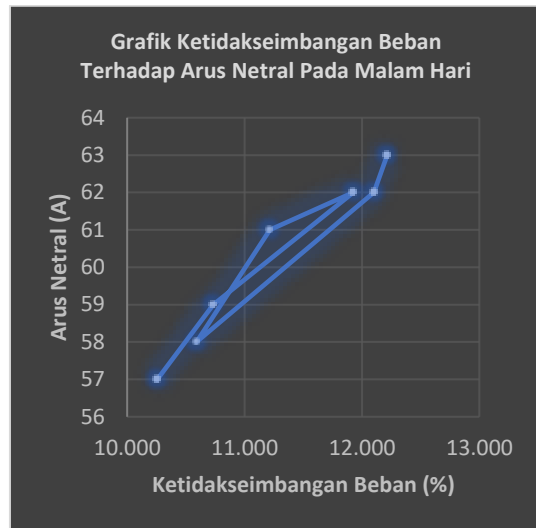
Analisis Ketidakseimbangan Beban

Berdasarkan Tabel 9 dan 10 ketidakseimbangan beban menunjukan bahwasanya beban dalam keadaan tidak

seimbang jika koefisien kesetimbangan beban yaitu (a, b, c) tidak sama dengan satu. Sebagaimana yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, beban dikatakan seimbang jika koefisien kesetimbangan beban $a = b = c = 1$. Adapun untuk rata-rata persentase ketidakseimbangan pada siang hari diperoleh 15,28% lebih besar dibandingkan dengan rata-rata persentase ketidakseimbangan beban pada malam hari sebesar 11,292 %. Dalam hal ini ketidakseimbangan beban dapat dikategorikan cukup bila ditinjau berdasarkan standar SPLN No. 17 Tahun 2014 yang mana persentase ketidakseimbangan yang diperoleh $>10\%$ - $<20\%$.

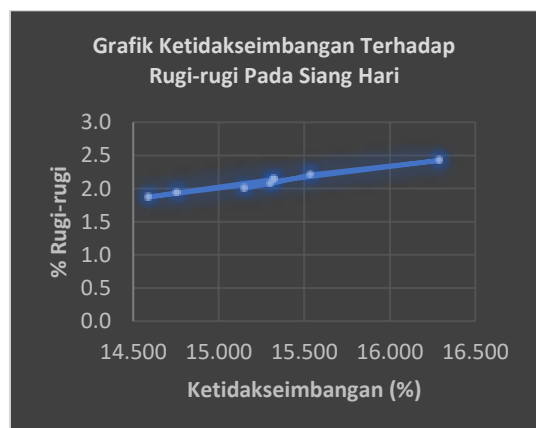


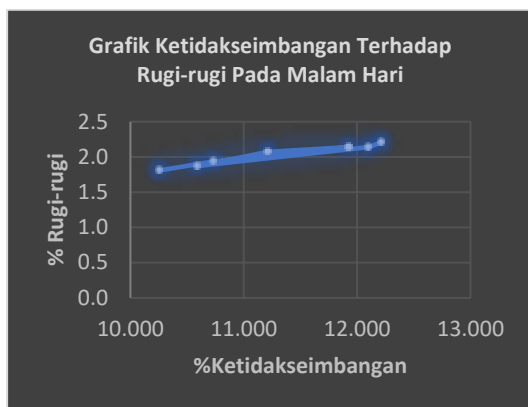
Berdasarkan Gambar 4.3 grafik ketidakseimbangan beban, menunjukkan bahwasanya persentase rata-rata ketidakseimbangan beban pada malam hari lebih kecil dibandingkan dengan persentase ketidakseimbangan beban pada siang hari. Adapun persentase ketidakseimbang beban terbesar diperoleh dengan nilai 15, 539 % pada siang hari. Selain itu, persentase ketidakseimbangan terkecil diperoleh dengan nilai 10,256 % pada malam hari. Adapun grafik ketidakseimbangan beban terhadap arus dapat dilihat berdasarkan gambar dibawah ini



Berdasarkan grafik ketidakseimbangan terhadap arus netral menunjukkan semakin besar persentase ketidakseimbangan beban maka akan semakin besar pula arus netral serta losses yang diperoleh.

Adapun grafik ketidakseimbangan terhadap rugi-rugi dapat dilihat berdasarkan gambar dibawah ini:





Berdasarkan grafik ketidakseimbangan beban terhadap rugi-rugi, menunjukkan hubungan linier yang mana semakin besar ketidakseimbangan beban yang dihasilkan oleh arus netral maka akan semakin besar pula rugi-rugi yang diperoleh.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi pembebanan pada transformator gardu cantol PTUC di PT PLN (Persero) UP3 Bandung dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Rata-rata persentase nilai pembebanan pada transformator gardu cantol PTUC di PT PLN (Persero) UP3 Bandung berbeda antara siang dan malam hari. Pada siang hari diperoleh pembebanan rata-rata sebesar 37,97 % sedangkan pada malam hari sebesar 46, 13 %. Apabila ditinjau berdasarkan standar SPLN No.17 Tahun 2014 bahwa pembebanan transformator yang baik memiliki nilai < 60 % dan Batas maksimumnya 80%. Oleh karena itu, pembebanan pada transformator perlu ditingkatkan lagi.
2. Terjadi ketidakseimbangan pembebanan pada transformator gardu cantol, pada siang hari rata-rata sebesar 15,28 % sedangkan pada malam hari diperoleh sebesar 11, 29%. Berdasarkan standar SPLN No. 17 Tahun 2014 menjelaskan bahwa standar ketidakseimbangan pembebanan yang baik memiliki nilai <10 % dan batas maksimumnya 20 %.

Oleh karena itu, ketidakseimbangan yang terjadi masih wajar (cukup baik).

3. Rata-rata persentase rugi-rugi pada siang hari sebesar 2,1% sedangkan pada malam hari sebesar 2 %. Semakin besar ketidakseimbangan beban pada transformator maka arus netral serta losses yang dihasilkan akan semakin besar pula. Berdasarkan standar SPLN No. 17 Tahun 2014 menjelaskan bahwa standar rugi-rugi yang baik memiliki nilai <10%, maka persentase rugi-rugi masih jauh dari batas rugi-rugi minimalnya.

Adapun saran yang dapat diberikan diantaranya

- 1) Bagi peneliti selanjutnya, alangkah lebih baik jika dilengkapi dengan data arus *grounding*.
- 2) Data untuk arus netralnya bisa ditambahkan dengan memakai harmonisa.
- 3) Sehubungan dengan masih rendahnya pembebanan trafo, PLN UP3 Bandung masih dapat menambah kapasitas sebesar daya konsumen aktual yang terjadi pada saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- A. A., Mulyana, A. T., Risnandar, M. A., & Sutisna. (2022). Analisis Penyeimbangan Beban Pada Transformator Di Fakultas Petanian Universitas Siliwangi. *JOURNAL OF ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING (JEEE)*, 71-77.
- Alamsyah, M., & K, M. F. (2020). *Analisis Transformator Pada PT.PLN (Persero) Di Gardu Induk Panakkukang*. Makassar: Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Arsyad, M., Junaidi, & Wirawan, A. D. (2022). Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losess Pada

- Transformator Distribusi Di Penyulang Pangsuma PT. PLN (Persero) Rayon Mempawah. *Teknik Elektro*, 1-12.
- Asyadi, T. M., Firwan, Muliadi, & Syukri. (2022). Analisa Pembebanan Transformator Distribusi 20 kV Pada Penyulang LS5. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 1-5.
- Azis, H. N., & Sulistiyono. (2016). Analisis Pengaruh Masa Operasional Terhadap Penurunan Kapasitas Transformator Distribusi Di PT.PLN (Persero). *Jurnal Teknik Mesin*, 167-174.
- Bakar, S. A., & Hamid, M. K. (2016). Sistem Pertanahan Pada Transformator Distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) Area Lhokseumawe Rayon Lhoksukon. *Sistem Pentanahan*, 13-16.
- Hidayat, S., Legino, S., & Mulyanti, N. F. (2018). Penyeimbangan Beban Pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu Distribusi CD 33 Penyulang Sawah Di PT PLN (PERSERO) Area Bintaro. *Jurnal Sutet*, 8, 21-27.